二重回折格子法による間隙設定法[†]

山下 恭司*・平野 亮一*・石橋 頼幸*・内田 憲男*

A Method of Setting a Gap by Using Dual Diffraction Gratings

Kyoji YAMASHITA*, Ryoichi HIRANO*, Yoriyuki ISHIBASHI* and Norio UCHIDA*

A method of setting a gap between two platelike objects is presented by using dual diffraction gratings. A formula is obtained by analytic calculation to prevent multiple reflections between those objects and improve the accuracy of positioning at the gap.

Key Words: gap, diffraction gratings, multiple reflection, analytic calculation

1. はじめに

将来の VLSI の製造手段として、X線露光法が有力とされている。この方法は、マスク上に Au や W で形成された回路パターンをマスクと 30 μm 程度の間隙に設定されたウエハ上のレジスト膜（感光樹脂）に X 線を用いて転写するものであり、間隙の変動によってマスクパターンとウエハ上の転写パターンが位置ずれするため間隙を $\pm 0.1\mu\text{m}$ の高精度に設定できるものが求められる。

われわれは二重回折格子法を用いた間隙設定法の研究を進めてきた¹⁾。これは、マスクとウエハに互いに直交した 1 次元回折格子を形成し、波長 $\lambda=632.8\text{nm}$ の Ne-He レーザー光を照射し、マスク、ウエハ、マスクの順に回折した特定の次数の回折光強度を計測するものである。しかし、マスクとウエハ間での光の多重反射による $\lambda/2$ 周期のリップルによる精度の低下を無視できなかった。今回、間隙設定点付近で多重反射を低減する回折格子の形状を考察したので報告する。

2. 回折格子の性質

Fig. 1 に示すように、入射角 α で単位振幅の波長 λ の単色光をピッチ p の 1 次元回折格子に入射すると、 n 次回折光は角度 θ_n の複素振幅 c_n の光として表わされる。 θ_n は (1) 式であたえられ、 c_n は回折格子の振幅透過率（または反射率）分布 $t(x)$ の n 次フ

Fig. 1 Dual diffraction gratings
(upper: mask, lower: wafer)

ーリエ級数であり、(2) 式で表わされる。

$$\sin \theta_n = \sin \alpha + n\lambda/p \quad (1)$$

$$c_n = (1/p) \int_{-p/2}^{p/2} t(x) \exp[j2\pi x/p] dx \quad (2)$$

ただし、 $j = \sqrt{-1}$

たとえば、Fig. 1 のようにデューティー比 c/p の場合、

$$\begin{aligned} c_n &= c/p & (n=0) \\ &= \{\sin(n\pi c/p)\} / (n\pi) & (n \neq 0) \end{aligned} \quad (3)$$

となり、特にデューティー比 1/2 のとき

$$\begin{aligned} c_n &= 1/2 & (n=0) \\ &= 0 & (n=2m) \\ &= (-1)^m / (2m+1)\pi & (n=2m+1) \end{aligned} \quad (4)$$

となり、0 を除いた偶数次のフーリエ級数 c_n は 0 である。

3. 間隙設定法の構成

全体構成図を **Fig. 2** にしめす。マスク上にピッチの異なる y 方向の 1 次元回折格子（ピッチ p_{x1} , p_{x2} ）を 2 対、またウエハにマスク上の回折格子にそれぞれ対応する、等しいピッチの x 方向の 1 次元格子（ピッチ p_y ）を同じく 2 対あらかじめ形成しておく。

また、一定の周期で振動されるミラーにより、He-Ne レーザー光（波長 $\lambda=632.8\text{nm}$ ）を交互に 2 対のマスク上の回折格子に垂直方向から入射する。マスク、

[†] 第 28 回計測自動制御学会学術講演会で発表 (1989・7)

* (株) 東芝総合研究所 川崎市川崎区浮島町 4-1

* R & D Center, Toshiba Co. Ltd., Kawasaki
(Received December 26, 1989)
(Revised February 7, 1990)

Fig. 2 Schematic of the sensing system

ウエハ、マスクの順に回折された光のうち、 x 方向に0次、 y 方向に1次の回折光だけをフォトダイオードで受光する。この回折光は多重反射を考えなければ、 s を整数としてマスクで s 次、ウエハで1次、再びマスクで $-s$ 次の回折をする回折光をすべての s について加算したものである。ミラーとの同期検波より2対の回折格子からの強度差 ΔI が得られる。また、 ΔI が0となる点が間隙設定点となる。

4. 理論計算

フレネル回折積分より x 方向に0次、 y 方向に1次の回折光振幅は(5)式で表わせる。光強度 I は振幅の絶対値の2乗に等しい。ただしデューティ比 $1/2$ の格子と仮定した。第1項はマスク、ウエハ、マスクの順に回折した項で、第2項はマスク下面で反射し、再びウエハ、マスクの順に再び回折した項である。第1項と第2項の干渉により $\lambda/2$ のリップルが生じることがわかる。第2項が $1 + \exp[-j2\pi \lambda z/p_y^2]$ でくくれる理由は y 方向に1次の回折光はウエハで s 次、 $1-s$ 次の回折で得られるが、 c'_s と c'_{1-s} がともに0でない場合は(4)式により $s=0, 1$ に限られるからである。

$$\begin{aligned} f_i(0, 1) = & c'_i \sum_{TC_{n1}} \sum_{TC_{-n1}} \exp[-j2\pi n_1^2 \lambda z/p_{x1}^2] \\ & + c'_0 c'_1 \exp(j4\pi z/\lambda) \\ & \cdot (1 + \exp[-j2\pi \lambda z/p_y^2]) \\ & \cdot \sum_{TC_{n1}} \sum_{RC_{n2}} \sum_{TC_{-n1-n2}} \\ & \cdot \exp[-j2\pi \{n_1^2 + (n_1 + n_2)^2\} \lambda z/p_{x1}^2] \end{aligned} \quad (i=1, 2) \quad (5)$$

TC_n : マスクの回折格子 m 次フーリエ級数 (透過)

RC_n : マスクの回折格子 m 次フーリエ級数 (反射)

c'_m : ウエハの回折格子 m 次フーリエ級数

p_{x1}, p_{x2} : マスクの回折格子のピッチ

(a) Intensity $I(0, 1)$ vs. gap z (b) Gap-setting signal ΔI vs. gap z

Fig. 3

p_y : ウエハの回折格子のピッチ

また、前章で述べた強度差 ΔI は多重反射の項を無視すると(6)式で表わせる。

$$\begin{aligned} \Delta I = & |f_1(0, 1)|^2 - |f_2(0, 1)|^2 \\ = & -2|c'_1|^2 \sum_{TC_{n1}} \sum_{TC_{-n1}} \sum_{TC_{n2}} \sum_{TC_{-n2}} \\ & \cdot \sin[\pi(n_1^2 - n_2^2)\lambda z/(p_{x1}^2 + 1/p_{x2}^2)] \\ & \cdot \sin[\pi(n_1^2 - n_2^2)\lambda z/(p_{x1}^2 - 1/p_{x2}^2)] \end{aligned} \quad (6)$$

したがって(7)式で与えられる間隙において $\Delta I=0$ となることがわかる。

$$z_0 = \{\lambda(1/p_{x1}^2 + 1/p_{x2}^2)\}^{-1} \quad (7)$$

設定点 z_0 が、(8)式を満たすとき、(5)式の第2項は0となり、この点の近傍で多重反射が低減されることがわかる。(7)式に(8)式を代入すると(9)式が得られる。

$$z_0 = (2m+1)p_y^2/2\lambda \quad (m \text{ は整数}) \quad (8)$$

$$(p_y/p_{x1})^2 + (p_y/p_{x2})^2 = 2/(2m+1) \quad (9)$$

5. 数値計算

数値計算は、マスクとウエハの回折格子は振幅格子と仮定し、回折次数は -3 から 3 まで考慮した。マスク、ウエハの反射率はそれぞれ95.5% (Au), 15.0% (Si)とした。Fig. 3(a)に光強度 I_i ($i=1, 2$)と間隙 z の関係を、Fig. 3(b)に強度差 ΔI と間隙 z の関係をしめす($p_{x1}=5$, $p_{x2}=9$, $p_y=6.18 \mu\text{m}$ で(9)式を満たす)。設定点 $z_0=30.2 \mu\text{m}$ 付近でともにリップルが小さくなっているのがわかる。

6. まとめ

X線露光法に用いるマスクとウエハの間隙設定法の

ために、多重反射を低減する回折格子の形状を考案し、その効果を理論計算および数値計算で確認した。

参 考 文 献

- 1) 内田, 石橋, 平野, 菊入: 回折格子法によるマスクとウェハの間隙設定法, 精密工学会誌, 55-5, 114/119 (1989)